新連載：スイッチング電源講座・第6回

同期整流とマルチフェーズ

山崎　浩

同期整流は新しい概念ではありません．以前から，白熱ランプの調光や大型のPAMインバータの電源素子にはサイリスタの位相制御が用いられてきましたが，サイリスタはAC商用周波数に同期して整流し，さらに出力を位相制御により調整してきました．**第1表**に整流回路に用いられる半導体素子を比較します．

同期整流の背景

コンピュータを高機能化するために，メモリー（DRAM）容量は増加の一途をたどっています．メモリーは一種のコンデンサで，コンデンサの容量をC，ハイレベルの電圧をVとすれば，1回の書き込みには1/2・CV_のエネルギーが必要です．消費電力Pは1秒間に書き込み消去した回数，概ねクロック周波数fに比例します．

P=CV_f

コンピュータの高機能化すなわちメモリーの大容量化と，高速化すなわち高周波化に伴う消費電力の増大および発熱を抑えるには，電源電圧Vの低下が不可避です．

しかし，高周波から低い直流電圧を得る場合，接合形ダイオードを用いる限り，リカバリー現象と順方向電圧V_Fが整流効率を大幅に低下させてしまいます．バイポーラ素子である接合形ダイオードをユニポーラ素子のショットキー・ダイオードに置き換えれば，リカバリー問題は解決されます．しかし，V_Fは半減するものの漏れ電流が増加する欠点もあります．

同期整流の動作原理

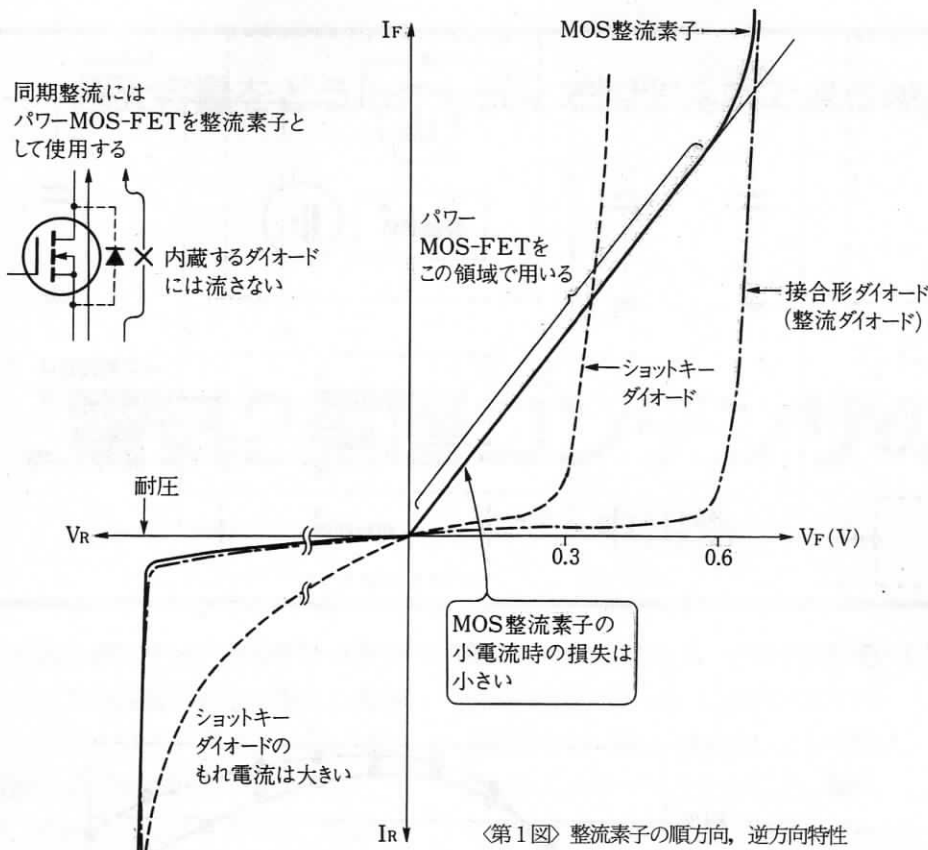
ショットキー・ダイオードよりV_Fをさらに小さくすることが同期整流の目的です．スイッチとしてのパワーMOS-FETはダイオードの閾値としてのV_Fはなく小電流時の飽和損失は限りなく0Vに近づきます（**第1図**）．

第2図に同期整流（Synchronous Rectification）の概念を示します．AC入力に同期してオンオフするスイッチで整流し，DCを得ることが特徴です．AC入力の(+)に同期してスイッチをオン，(−)に同期してオフすれば出力にDCが得られます．

一般にNchパワーMOS-FETがオンすると電流はドレインからソース方向に流れ，内蔵ダイオードにとって逆方向で用います．同期整流スイッチとしてのNchパワーMOS-FETにはソースからドレイン方向に電流は流れ，内蔵ダイオードに対し順方向です．

しかし，内蔵ダイオードに順方向電流が流れるとリカバリー現象が生ずるので，高速のスイッチにはなり得ません．内蔵ダイオードに電流を流さないために，パワーMOS-FETの端子電圧（$=I_{SD} \times R_{DS}(on)$）を

素子名	順方向電圧 V_F	耐圧	スイッチング速度	その他
サイリスタ	大	高	遅い	駆動回路必要 出力調整可能
整流ダイオード	中	高	やや遅い	
ファストリカバリ・ダイオード	やや大	中～高	速い	
ショットキ・ダイオード	小	低～中	高速	もれ電流大
パワーMOS-FETによる同期整流	最小	低～高	高速	駆動回路必要

〈第1表〉整流素子の特徴

〈第1図〉整流素子の順方向，逆方向特性

〈第2図〉同期整流の概念

内蔵ダイオードの順方向電圧 V_F 以下に選びます．

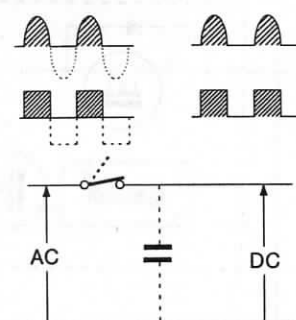
同期整流素子としてのパワーMOS-FETが扱うことの可能な電流値を見積もって見ましょう．内蔵ダイオードの順方向電圧 V_F＝0.6 V，動作時のオン抵抗を 10 mΩ とすれば，

$$0.6\ \mathrm{V} \geqq 10\ \mathrm{m\Omega} \times 2 \times I_{OUT},$$

よって，$I_{OUT} \leqq 30\ \mathrm{A}$

第3図は降圧チョッパー回路の制御素子（チョッパー）に Pch または Nch のパワー MOS-FET を，同期整流素子として Nch パワー MOS-FET を用いています．制御素子は R_{DS}(on)に制約されないので駆動を容易にするためにゲート容量の小さい素子が，同期整流素子には R_{DS}(on)の小さいトレンチ形が適しています．

マルチフェーズとは

マルチフェーズとは多相の意味で，単相すなわちシングルフェーズに対比する概念です．商用電源の3相ラインと単相ラインの関係に似て，マルチフェーズはシングルフェーズより大電力を取り出すための手法です．大容量化が進み，100 A もの出力を要求されるサーバーなどに有効です．

第4図にマルチフェーズの DC/DC コンバータを示します．

A，B，C…の各ユニットは降圧チョッパーです．A，B，C…を同じタイミングでオン，オフ動作させれば，単純にユニット数倍の電流容量になります．各ユニットのオン期間が重ならないようにする，言い換えると位相をずらしてオン，オフさせると出力部の平滑コンデンサへの充放電回数が増えるので，リップル電圧が小さくなります．

たとえば4相のマルチフェーズの DC/DC コンバータの各ユニットを，250 kHz でスイッチングすると，出力コンデンサからみて 250 kHz の4倍，すなわち 1 MHz でスイッチングしたことと等価です．ただし，各ユニットには個々に 250 kHz でスイッチングする駆動回路が必要になります．

第5図のようにチョークコイルを共用することもできます．チョークコイルに流れる電流は出力電流そのものだから，**第4図**のチョークコイルより大きくなります．また，外来ノイズなどで，各ユニットのオン期間が揃うと入力が短絡されます．

フェーズの数を増やせば，出力を大きくできるはずですが，同数の駆

〈第3図〉降圧チョッパによる同期整流